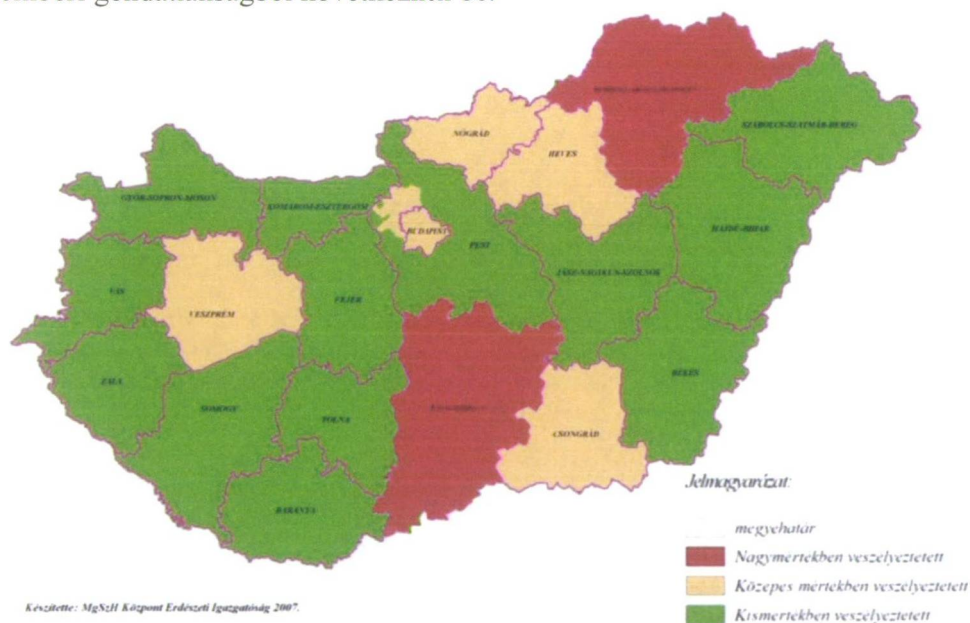


LÉGIFELVÉTELEZÉSEL TÁMOGATOTT KÖRNYEZETI MONITORING. ESETTANULMÁNY A LEÉGETT BUGACI ŐSBORÓKÁS TERÜLETÉN

Tobak Zsolt – Szatmári József

1. Bevezetés, célok

A magyarországi erdőtüzek az év két kiemelt időszakában jelentenek veszélyt. A február és április közötti csapadégmentes hónapokban elsősorban a hó olvadását követően meginduló mezőgazdasági munkákhoz kapcsolódnak a tüzesetek (rét és tarlóégetés). Ezek jellemzően az új telepítésekben okoznak nagyobb károkat, az idősebb fákból álló vegetációk kevésbé veszélyeztetettek [1]. Júniustól szeptemberig a nyári meleg, aszályos hónapokban a lombos és tűlevelű erdők kiszáradt avartakarója a potenciális veszélyforrás. Ezek a tüzek főleg az Alföldön, Bács-Kiskun és Csongrád megye szárazabb területein pusztítanak (1. ábra). A tüzesetek mindkét időszakban 99%-ban emberi gondatlanságból következnek be.



1. ábra. Magyarország megyéinek erdőtűz-veszélyességi besorolása (Forrás: [1])

Az utóbbi évtizedekben megfigyelhető megnövekedett erdőtűz gyakoriság okait elsősorban a szélsőségesebb éghajlatban (kevesebb csapadék, magasabb átlaghőmérséklet, hótakaró nélküli telek) kereshetjük, ami végső soron az avarszint jelentős kiszáradásához vezet.

A bugaci ősbörökás területén 2012. április 29-én kipattant tűz a május 5-én érkező esővel aludt ki teljesen [2]. Füstje a műholdfelvételek tanúsága szerint (2. ábra) a D-DK irányú széllel egészen a főváros pereméig eljutott [3]. A fák odvaiban napokig parázsló tűz, a rossz talajviszonyok és a feltámadó szél mind nehezítették az oltási munkálatokat. A tűz május 1-én a délutáni órákig többször fellobbant. A kiemelt riasztású tűzben a védett terület több mint ötödrésze égett le (3. ábra). A vegetáció mellett az állatvilág is károsodott, pl. védett hüllők és madárfajok fészekaljai pusztultak el.



2. ábra. A 2012-es bugaci erdőtűz füstjének terjedése műholdképen (Forrás: [3])



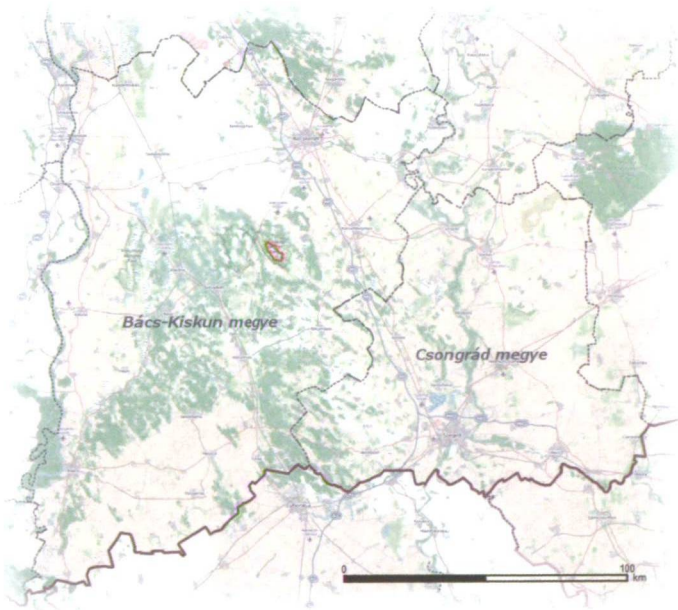
3. ábra. A leégett terület részlete az elpusztult pihenővel és kilátóval 2014 telén (a szerzők felvétele)

Az elpusztult vegetáció helyreállítására az állam új munkaerő bevonásával járult hozzá, akik a romok eltakarításában, friss telepítések létrehozásában és a károsodott területen agresszíven terjedő invazív fajok irtásában is segítették a nemzeti parkot [4].

Munkák célja, hogy a távérzékelés kínálta eszköztárat – adatgyűjtési, adatfeldolgozási és kiértékelési módszereket (Szatmári et al. 2014) – felhasználva támogatást nyújtsunk a nemzeti park szakembereinek a károk hatékony és pontos felméréséhez, illetve az erre alapozott helyreállítási munkák megtervezéséhez és kivitelezéséhez.

2. Vizsgálati terület

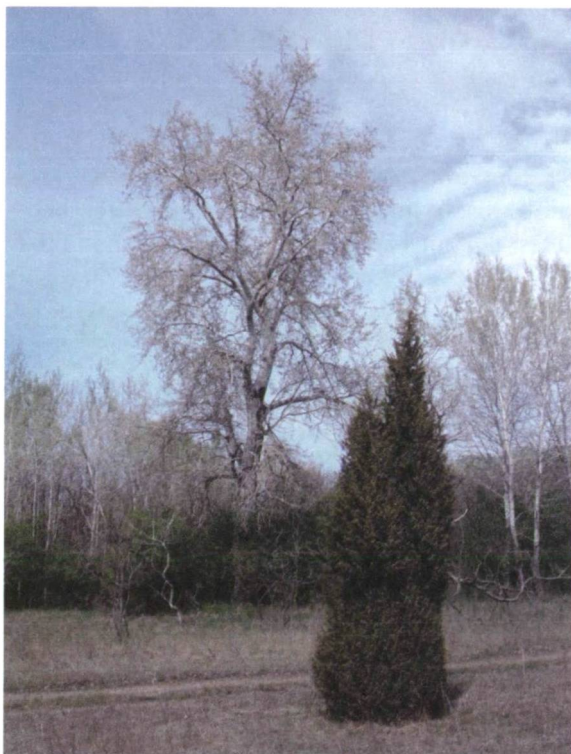
A vizsgált terület a Kiskunsági Homokhátságon, a Duna-Tisza-közén helyezkedik el (4. ábra). A Kiskunsági Nemzeti Park (KNP) VI. számú védett egységének része, Bugac településtől kb. 7 km-re nyugatra található. A felszín meghatározó jegyei a homokbuckák, közülük a kifli-alakú garmadák a legelterjedtebbek, melyek mintegy 4 km hosszan követik egymást és 12-18 méter magasságot is elérhetnek a területen. A homok és lösz nagy részét az Ős-Duna által szállított hordaléka adja, melyet a pleisztocén és a holocén folyamán az északnyugati szelek rendeztek buckasorokba. A holocén időszak elején a formák teljesen megkötődtek, majd a boreális fázisban a szél hatására újra mozogni kezdtek (Borsy 1989). A buckasorok között szikes tavak jöttek létre (Temesi 1986).



4. ábra. A mintaterület elhelyezkedése

A terület jellemző társulása az *évelő nyílt homokpuszta gyp*. A borítottság nagyjából 50%-os, diverzitása a tavaszi és az őszi aspektusban a legnagyobb, nyaranta a társulás általában kiszárad. Természetvédelmileg igen jelentős asszociáció (Facsar

1996), itt található meg a legtöbb hazai endemikus lágyszárú faj (pl. magyar vagy homoki csenkesz (*Festuca vaginata*), árvalányhaj fajok (*Stipa sp.*)). A buckák tetején, déli oldalán és a meredek területeken a természetes többszintű növénytakarót borókás-nyárasok (*Feszuacetum vaginatae juniperetosum*) alkotják (5. ábra). A lombkorona szintben a fehér nyár (*Populus alba*) és ritkábban a szürke nyár (*Populus canescens*), a cserjeszintben a közönséges boróka (*Juniperus communis*) mellett ligetszerűen megjelenik a galagonya (*Crataegus monogyna*) és a kökény (*Prunus spinosa*) is. A gypeszintben ritka orchidea fajokkal találkozhatunk: piros madársisak (*Cephalanthera rubra*), vörösbarna (*Epipactis atrorubens*) és bugaci nőszőfű (*Epipactis bagacensis*) (Borhidi 2003). A deflációnak kevésbé kitett buckaoldalakon, illetve a völgyekben a már teljesen záródó lombkoronaszintbe kocsányos tölgy (*Quercus robur*) is elegyedik (Tóth 1975).



5. ábra. Boróka, háttérében idős fehér nyár (a szerzők felvétele)

3. Módszerek

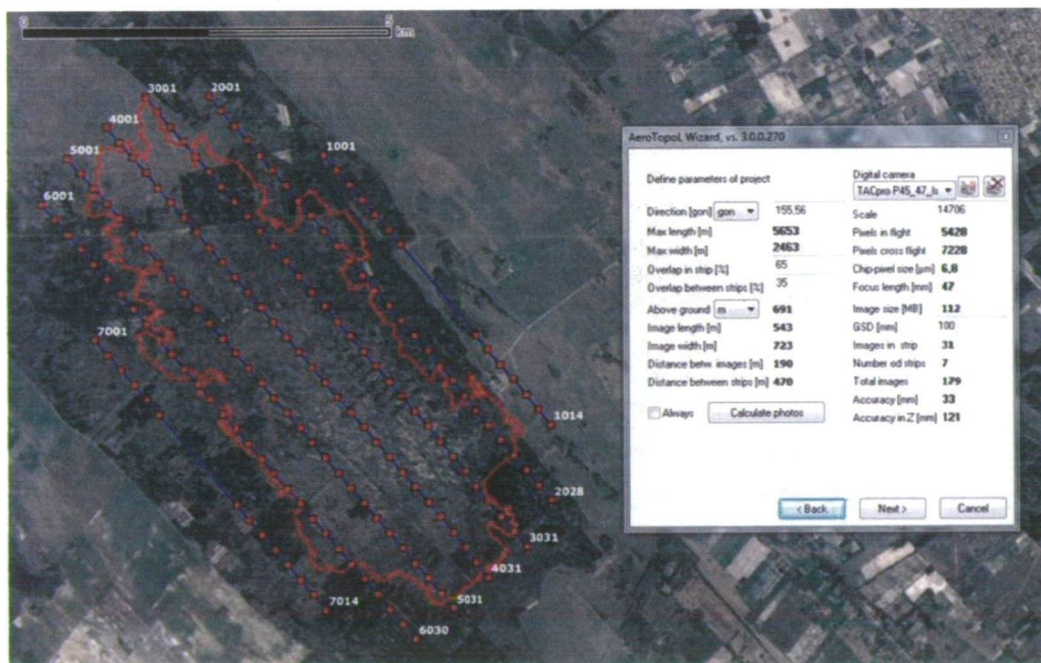
3.1. Légifelvételzés

Az adatgyűjtés távérzékeléses módszerrel, egy Cessna-172 típusú kisrepülőre szerelt nagyfelbontású légifelvételző rendszerrel történt (Tobak et al. 2008). A mielőbbi kárfelmérés érdekében az tűz után 1 hónappal (2012. június 7-én), a

regenerálódás és az invazív fajok terjedésének monitorozására pedig 1 évvel később (2013. július 1-én) került sor az érintett terület lerepülésére. Mindkét esetben azonos rendszert és munkafolyamatot alkalmaztunk.

A felvételező rendszer központi eleme egy Trimble Aerial Camera, ami 39 MP-es PhaseOne P45+ hátfalból, cserélhető 47 mm-es RGB és színes-infravörös (CIR) objektívból és különféle vezérlő egységekből épül fel. Ezt megfelelő tápellátás és a pontos navigációt biztosító GPS eszközök, illetve hordozható számítógép egészíti ki. A rendszer szoftver komponense (AeroTopoL) a tervezési és navigációs fázisokat egyaránt támogatja (Tobak 2013).

A felvételezést megelőzően pontos repülési tervet készítettünk, melynek során a KNP által megadott területhatár alapján létrejött a repülési sorok és képközéppontok geometriai állománya. Ez a navigáció és a pozíció alapú képkészítés alapvető követelménye. Az egymást követő felvételek 60-70%-os bázis irányú, a szomszédos sorok 20-30%-os haránt irányú átfedésben voltak egymással, így biztosítva a terület hézagmentes lefedését, illetve a térbeli kiértékelést (pl. magasságmérést). További fontos paraméter a felvételezés kívánt terepi felbontása (GSD), mely esetünkben 20 cm (2012-es felvételezés), illetve 10 cm (2013-as felvételezés) volt. A felszín felett kb. 1400 méterről, valamint kb. 700 méterről így összesen 2012-ben 4 repülési sorban 58, 2013-ban pedig 7 repülési sorban 179 db légifelvételt készítettünk (6. ábra).



6. ábra. A 2013-as felvételezés repülési terve és főbb adatai

A repülést követően a nyers – navigációs és képi – adatok kinyerése következett. A tényleges nyomvonal és a képkészítési centrum koordináták ASCII formában nyerhetők ki, melyek megfelelő formátumba hozva közvetlenül térinformatikai rendszerbe integrálhatók. Így képenként 3 koordináta és – az elvi 3 közül – egyetlen elfordulási (kappa) szög érték (ún. külső tájékozási paraméterek) állt rendelkezésünkre. Ezek az információk a felvételek légi háromszögelésének kötelező bemenő adatait adják. A középpont koordináták EOVS rendszerben, az elfordulási szög fokban került rögzítésre.

3.2. Ortofotók előállítása

Az egyedi felvételekből Agisoft PhotoScan rendszerben megtörtént az ún. felvételi blokk összeállítása (*Align Photos*). Ez a folyamat az átfedő képrészleteken automatikusan megtalált közös pontokat és a külső tájékozás kezdeti paramétereit használja fel. A képek összeillesztésének eredményeként a felvételi blokk egymáshoz igazított képeinek átfedő részeiről a szoftver automatikusan közös pontokat keres, és egy ún. ritka 3D pontfelhőt hoz létre. Erre a ritka pontfelhőre – a durva geometriai hibák kiszűrésének céljából – térbeli háló (*mesh*) feszíthető.

A modell és a földrajzi tér nagy pontosságú összekapcsolásához a terepen mért felszíni illesztőpontokra is szükségünk volt. A KNP munkatársai a felvételezett területen 162 db, a felvételeken is jól azonosítható fólia csíkot helyeztek el, melyek koordinátáit nagy pontossággal, RTK GNSS technológiával rögzítették. A feldolgozás során ezek ún. GCP-ként (*Ground Control Point*) segítettek a modell külső tájékozását. A teljes felvételi blokkon, a többszörösen átfedő képterületeken egységes eloszlásban elegendő volt 8-9 GCP felhasználása. Az tájékozott légifotó blokk alapján a teljes területről – az eredeti felvételek geometriai felbontásával rendelkező – mozaikolt ortofotó készült.

3.3. Légifelvételek interpretációja

Az eredményként létrejött, feldolgozott adatok tartalmi információinak kinyerését, interpretációját a teljes mintaterületen elvégeztük. Az alkalmazott módszereket a kiértékelő szükséges beavatkozásának mértéke alapján manuális, szemi-automatikus és automatikus kategóriákba sorolhatjuk. Az interpretációra fordított – idő és személyi – erőforrások, az eredmények elvárt minősége és rendelkezésre állása közötti arányok optimalizálása érdekében elsősorban fél-automatikus módszereket használtunk.

A manuális kiértékelés a különböző mértékben károsodott területek vizuális elkülönítését és lehatárolását célozta meg (Turcsányi 2013). Ahogy a később részletezett módszereknél, itt is különös jelentőséggel bír a kiértékelő helyismerete, amit a KNP munkatársai által vezetett terepbejárás és GPS-es felmérés alapozott meg (Ungureán 2014).

A távérzékelte adatokat raszteres formátumban tároltuk, melyeken különböző képosztályozási algoritmusokat futtattunk. Ezek közül a képelemeket megadott számú osztályba automatikusan besoroló *ISODATA* eljárást teszteltük. Ebben az esetben az osztályok azonosítása (címkézése) utólag történik meg. A nagyobb felhasználói beavatkozást igénylő ún. irányított módszerek közül a *Maximum Likelihood* algoritmust

alkalmaztuk. Itt előre kijelölt, ismert növényzetű vagy károsodási fokú tanulóterületek alapján kerültek kialakításra az osztályok, melyekbe ezt követően spektrális hasonlóságuk szerint sorolódtak be az egyes képelemek (Turcsányi 2013).

3.4. Terepi adatfelvételezés

A terepi munkára 2014. április 9-én került sor, melynek során a terület, valamint a vegetáció állapotát mértük fel (Ungureán 2014). A munka során Trimble Juno SB típusú PDA-t használtunk Digiterra 6.0 térinformatikai szoftverrel. A parcellákat külön-külön osztályoztuk szemrevételezéssel, majd ArcGIS programban rendszereztük a felvett objektumok leíró adatait: vegetáció típusa, állapota, az invazív fajok legsűrűbben előforduló fájának neve és ennek mértéke, amelyet 1-5-ig osztályoztunk. Felvettük az egyes poligonokhoz tartozó különleges adatokat is, például az újonnan telepített nyárfákat, az elöregedő vegetációt.

3.5. A terület invazív fajai és borításuk mértéke

A terület bejárásánál, az invazív fajok osztályba sorolásánál elengedhetetlen, hogy ismerjük a Bugaci Nagy-Erdőben megtalálható növényeket. Az invazív növény (másneven özönnövény) általában egy olyan faj, mely más idegen területről érkezik. Legtöbb esetben ezeknek a növényeknek nincsenek speciális igényei, ezért életben maradásához szükséges feltételeit megtalálja, kártevője nincsen. Az ott őshonos növényeket elnyomva agresszíven terjeszkedik, így megváltoztathatja a táj ökológia képét is (Sipos 2004).

A terület invazív fajai a következők: mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima*), fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), selyemkóró (*Asclepias syriaca*), kései fürtösmeggy (*Prunus serotina*), és a tájidegen amerikai (kanadai) nyár (*Populus × euramericana* syn. *Populus × canadensis* hibridek), valamint a feketefenyő (*Pinus nigra*). A terepbejárás során e növények előfordulásának mértéke alapján 5 osztályt határoztunk meg:

1. egyáltalán nem található meg a területen
2. 0-10%-ban fordul elő az egyes parcella területén
3. 10-25%-ban fordul elő az egyes parcella területén
4. 25-50%-ban fordul elő az egyes parcella területén
5. 50% felett fordul elő az egyes parcella területén

3.6. Az egyes területek vegetációja és állapotuk felmérése

A parcellák vegetációjának meghatározásában az ott előfordult leggyakoribb növénynek alapján megkülönböztettünk fehér nyárást, borókást, fehér nyáras-borókást, erdei- és feketefenyvest, akácot és helyenként nyíltgyepet. A nyíltgyep meghatározásakor a területen szinte egyáltalán nem volt található fás szárú növény. Állapotuk felmérésében a tűz pusztító hatását vizsgáltuk, és ennek alapján megkülönböztettünk teljesen ép, illetve leégett területeket.

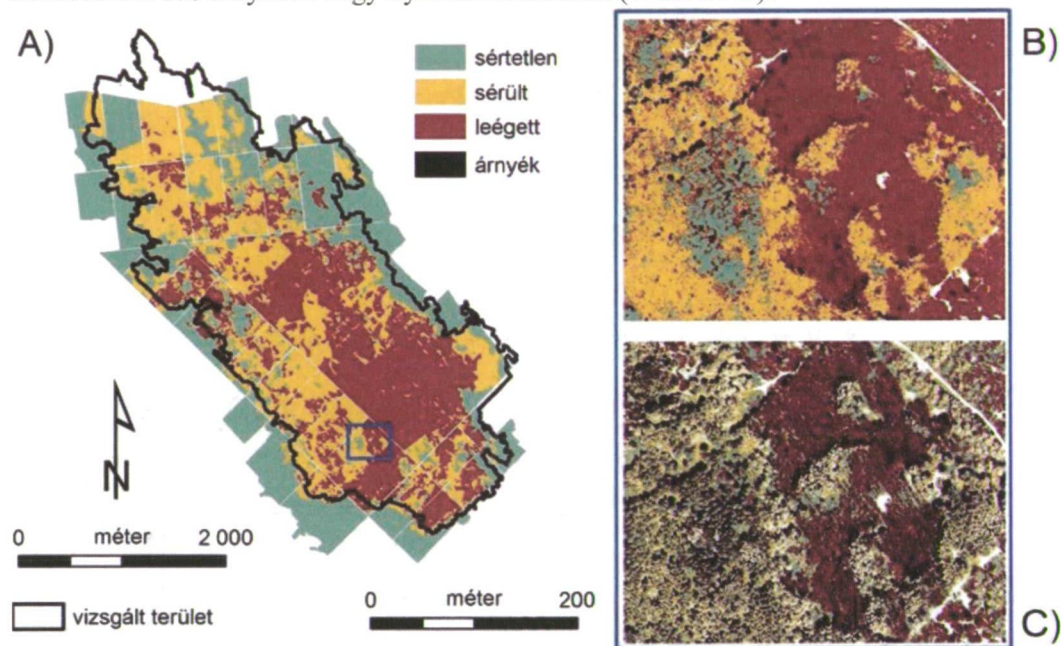
4. Eredmények

4.1. A károsodás mértéke távérzékelte felvételek alapján

Az előfeldolgozott – összemozaikolt – légifelvétel kiértékelése a legegyszerűbb esetben manuális lehatárolást jelentett. A KNP elvárásainak megfelelően a tájidegen (telepített) fenyvesek károsodásának felmérése történt meg ezzel a módszerrel. Az erdőrészlet térképek alapján a terület (835 ha) 24%-a (202 ha) sértetlenként, 38-38%-a (318 ha) pedig részben károsodottként vagy teljesen leégettéként került azonosításra (7. ábra / A).

A (szemi-)automatizált interpretáció irányított (Maximum Likelihood) és automatikus (ISODATA) osztályozásának eredményeit egy kiválasztott, közel 11 ha-os mintaterületen mutatjuk be, melyek jól reprezentálják a teljes területen vizsgált kategóriákat.

Az előre kijelölt tanulóterületekkel elvégzett irányított osztályozás a mintaterület 50%-át jelölte leégett, 30%-át részben sérült, 12%-át pedig sértetlen állapotúnak. A maradék kb. 8% árnyékos vagy nyílt homokfelszín (7. ábra / B).

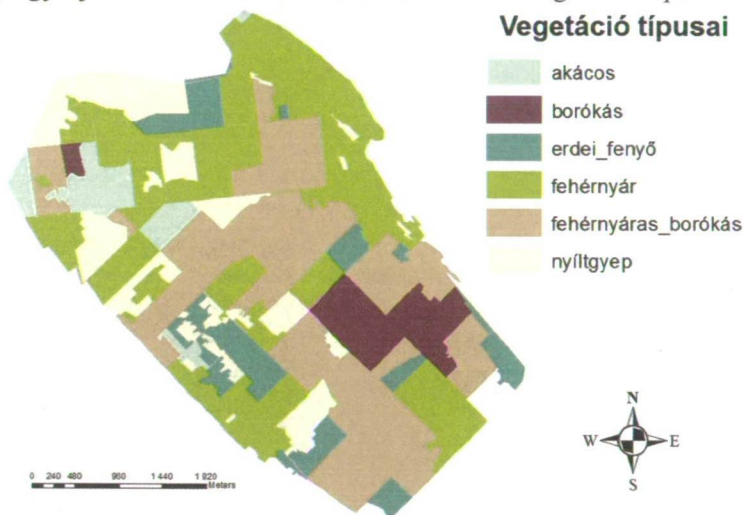


7. ábra. A különböző mértékben sérült területek manuális lehatárolása (A) és osztályozása (B / C) légifelvételek alapján

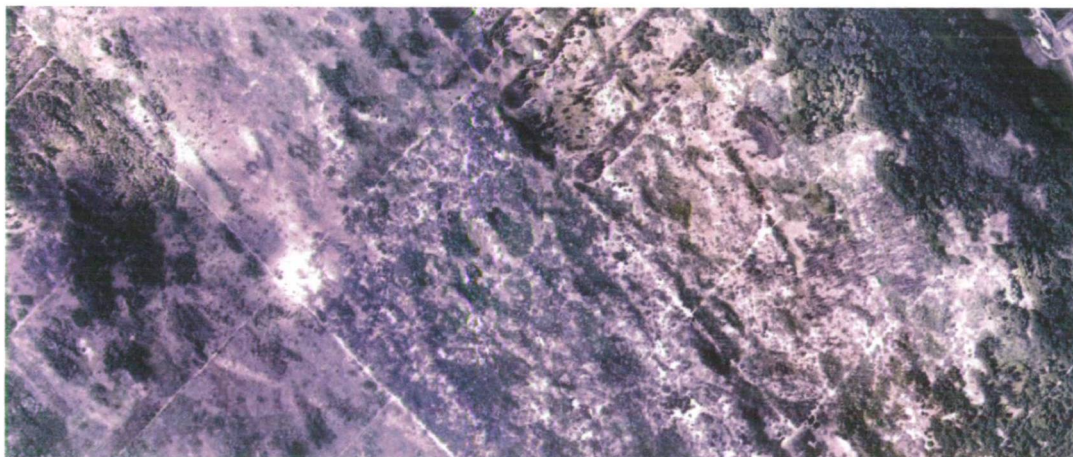
A 9 kiindulási osztállyal futtatott ISODATA klaszterezés eredmény sokkal heterogénebb képet mutatott, ugyanakkor a legnagyobb károkozás határvonala itt is szépen kirajzolódott. Ez esetben a képelemek 30%-a került a leégett, 28%-a a sérült, 14%-a pedig a sértetlenként felcímkézett csoportba. Az árnyékos területek részaránya sokkal magasabbnak (21%) adódott (7. ábra / C).

4.2. A vegetáció típusai

A vizsgált terület (1748 ha) 34,8%-át fehér nyár (622 ha), 27,3%-át fehér nyáras-borókás (488 ha), 17,1%-át erdeifenyves (307 ha), 10,3%-át nyíltgyepes vegetáció (185 ha), 6,4%-át borókás (115 ha) és 3,8%-át akácos (68 ha) borította a tűz pusztítása után 2 évvel (8. ábra). A vegetációt illetően nem tapasztaltuk azt, amit a szakirodalom leír, miszerint a borókák a homokbuckák alján jelentkeznek, a fehér nyár pedig a buckatetőkön helyezkedik el. Az erdeifenyvesek a perifériás területeken találhatóak meg (9. ábra), így egyfajta védelmi funkciót is betölthet ez a vegetáció típus.



8. ábra. A vegetációtípusok elhelyezkedése a területen



9. ábra. A légifelvétel részletén jól látható a borókás területek nagymértékű pusztulása

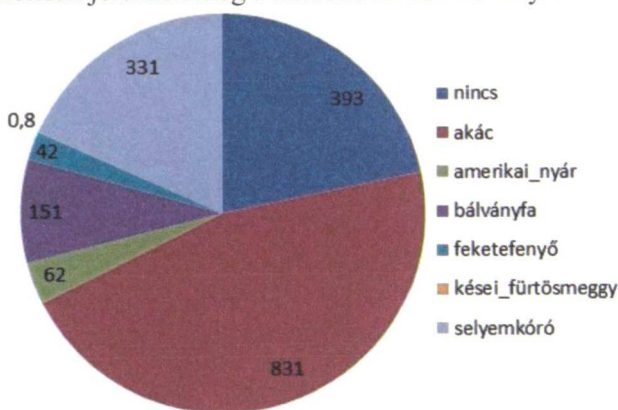
A terepbejárás során felvett adatok szerint a terület több mint a fele károsult a tűz következtében (9. ábra). Egyes területeken – főként a fehér nyárasokban – 2 méter magas törzségést is megfigyeltünk. A legnagyobb mértékben a borókás részek és az erdeifenyvesek károsultak. A nyíltgyep területeken már nem látszódott a tűz pusztító hatása, ezek 2 év alatt regenerálódtak a talajban található magok által.

A leégett fehér nyárasokban erőteljesen megfigyelhető volt azok sarjadása, regenerálódási képessége. A sarjak mérete körülbelül egy-másfél méter közötti volt. Az erdő területén sok előregedő állomány volt megfigyelhető, melyekben a vegetáció egészségi állapota rossz. Az elhalt, elégett fatörzsek otthagásával megindult ezek szuvasodása.

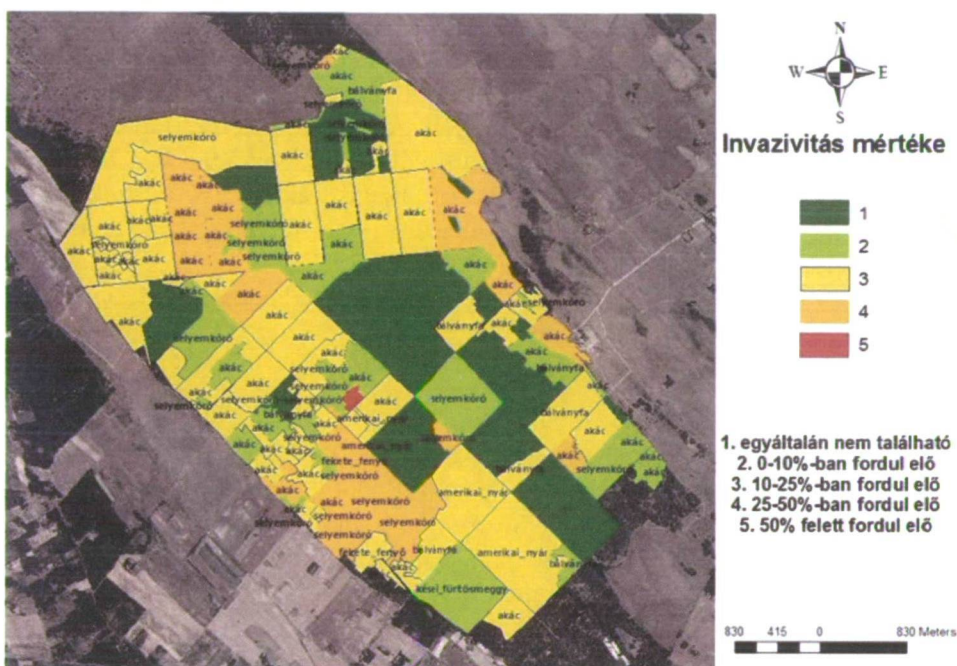
4.3. Invazív fajok és megjelenésük mértéke

A bugaci Nagyerdő területén még a 2012-es évben elkezdődött a terület helyreállítása. Az elhalt, elégett faanyagokat kezdetben nem szállították el a területről, a munkafolyamat jelenleg is folyik. A növényi maradványok elszállítása sem a legkedvezőbb a terület ökológiai egyensúlyára nézve, mivel a terület bolygatása kedvez az özönnövények megjelenésének. A maradványok feldolgozására és elszállítására szükség van, mivel nagy számban megfigyelhető ezeken a testeken a kártevők megjelenése és elszaporodása, ami veszélyezteti az egészséges vegetációt is.

A területen erőteljes az invazív fajok terjedése. Az erdőben az özönnövények megoszlása szerint a terület 46%-a akáccal, 3%-a amerikai nyárral, 8%-a bálványfával, 2%-a feketefenyővel, 0,04%-a kései fűrtösmeggyel és 18%-a selyemkóróval fertőzött (10. ábra). Ezek közül a legagresszívabb terjeszkedést a selyemkóró mutatja. A legnagyobb mértékben azonban az akác elterjedése figyelhető meg, amely erőteljesen degradálja a fokozottan védett terület természetvédelmi értékét. Az ősbörökás területén – mely a legnagyobb mértékben károsodott – nem figyelhető meg egyelőre az özönnövények megjelenése. A 11. ábrán látható az is, hogy inkább az erdőrészt periferián, illetve a nyíltgyepes vegetációkban jelennek meg a károsító hatású növények.



10. ábra. Az invazív fajok megjelenése (hektárban)



11. ábra. Az özönnövények és megjelenésük mértéke a vizsgált területen

5. Összegzés

A légifelvétel feldolgozása, kiértékelése és a terepbejárás során meghatároztuk a vizsgált terület károsodottságának mértékét, a vegetáció típusát, állapotát és az invazív fajok megjelenésének mértékét is. Az adatbázisokat úgy építettük fel, hogy azok később bővíthetők legyenek és más egyéb tényezők is vizsgálhatóak illetve rögzíthetők legyenek. A légifelvétel hatékony feldolgozásához munkafolyamatot dolgoztunk ki az Agisoft PhotoScan programhoz. A távérzékelési adatok interpretációját szemi-automatikus osztályozási módszerek segítették.

Vizsgálataink, térinformatikai adatbázisunk az erdő helyreállítását és az özönnövények terjedésének megakadályozását segítik. A vegetáció helyreállításának érdekében szükség van az elpusztult állomány újraterelítésére. Az elpusztult fenyvesek helyreállítása fontos lehet a területre nézve, mivel ez a vegetáció védelmi sávot képez az erdő belső területei körül, valamint a fenyvesek pufferezónaként is szolgálhatnak, melyekben az invazív fajok megjelenése nem számottevő. Az Ősborókásban a fehér nyár sarjait karban kell tartani, hogy ne szaporodjanak el túlságosan, és ne nyomják el a borókák terjedését.

Az invazív fajok folyamatos ritkítása is fontos feladat, így további területeket kellene megtisztítani az akác és bálványfa sarjaitól is. A gyepszintet nézve a selyemkóró terjedésének korlátozása igen fontos és egyben nehéz feladat is, mivel a selyemkóró igen agresszív terjeszkedést mutat a területen. Kiirtásukat megnehezíti, hogy telepekben, hosszú fonalakat alkotva terjed.

A terület regenerálódásának felmérésére, valamint az özönnövények nem kívánatos terjedésének monitorozására további légifelvételéseket és terepi adatfelvételeket tervezünk, amellyel a továbbiakban is támogatni szeretnénk a tanulmányban bemutatott és egyben a Kiskunsági Nemzeti Park egyik leglátogatottabb részének mielőbbi újraéledését.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány elkészítéséhez sok segítséget kaptunk Aleksza Róberttől, Filotás Zoltántól és Folberth Gergelytől a Kiskunsági Nemzeti Park, valamint Lestyán Csabától, a Bács-Kiskun Megyei Kormányhivatal Erdészeti Igazgatósága munkatársaitól.

Irodalom

- Borhidi A. (2003): Magyarország növénytakarulása. Akadémia Kiadó, Budapest, pp. 466-467
- Borsy Z. (1989): Az Alföld hordalékkúpjainak negyedidőszaki felszínfejlődése. Földrajzi Értesítő, pp. 210-220.
- Facsar G. (1996): Élő nyílt homokpusztai gyepek. In: Fekete G. – Molnár Zs. – Horváth F. (szerk.): A Magyarországi élőhelyek leírása és határozókönyve a nemzeti élőhelyosztályozási rendszer. Vácrátót, 71-72, p. 114
- Sipos F. (2004): Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság. In: Mihály B. – Botta-Dukát Z. (szerk.): Özönnövények. Biológiai inváziók Magyarországon. TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó. Budapest, pp. 399-403
- Szatmári J., Kovács F., B. van Leeuwen, Tobak Z., Mezösi G., Mucsi L., Juhász L., Huszár T., Kitka G. (2014): Távérzékelés a katasztrófa-védelem szolgálatában. In: Márkus B.: Térinformatika 2014 (Szerk.), Székesfehérvár, 399 p.
- Temesi I. (szerk.) (1986): Bugac - Ősborókás. Tájak – Korok – Múzeumok. Budapest, 16 p.
- Tobak Z. (2013): A városi felszín vizsgálata nagy térbeli és spektrális felbontású légifelvételek felhasználásával. Doktori (PhD) értekezés, Szeged, 122 p.
- Tobak Z., Kitka G., Szatmári J., van Leeuwen B., Mucsi L. (2008) Kisgépes, kisformátumú (SFAP) CIR légifelvételek készítése, feldolgozása és alkalmazása környezeti vizsgálatokban. IV. Magyar Földrajzi Konferencia előadásai. 618 p.
- Tóth K. (1975): Második Nemzeti Parkunk a „Kiskunsági Nemzeti Park”. Az Erdő. 24. 4. 147-152
- Turcsányi L. (2013): A kisgépes, nagyfelbontású légifelvételzés alkalmazási lehetőségei a leégett bugaci ősborókás területén. Szakdolgozat, SZTE, 52 p.
- Ungureán T. (2014): A 2012-es bugaci erdőtüz hatásainak vizsgálata légifelvételek és képosztályozási módszerek segítségével, a terület invazív fajai. Szakdolgozat, SZTE, 57 p.

Internetes hivatkozások (Letöltve: 2015. január 10.)

- [1] http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=tuzoltas_erdok_magyar
- [2] http://knp.nemzetipark.gov.hu/?pg=news_35_2100
- [3] http://met.hu/ismerettar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=194&hir=Bugaci_erdotuz_fust_faklyaja_Budapestet_is_elerte
- [4] <http://www.baon.hu/bacs-kiskun/kek-hirek-bulvar/oriasi-tuz-tombolt-a-bugaci-pusztaban-videoval-440025>